



Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

Nombre de la Tecnología: Incinerador - Tipo Recuperativo

A este tipo de incinerador también se le refiere como un oxidador termal, incinerador termal, y dispositivo de postcombustión; todos con "intercambiadores de calor." Sin embargo, el término intercambiador de calor es generalmente apropiado sólo para describir un oxidador termal utilizado para controlar gases provenientes de un proceso en donde la combustión es incompleta.

Tipo de Tecnología: Destrucción por oxidación termal

Contaminantes Aplicables: En primer lugar, a los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Alguna Materia Particulada (MP), comúnmente compuesta de hollín (partículas formadas como resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos (HC), coque, o residuos de carbón) también será destruida en varios grados.

Límites de Emisión Alcanzable/Reducciones:

La eficiencia de destrucción de COV depende de los criterios de diseño (ésto es, la temperatura de la cámara, el tiempo de residencia, la concentración de COV a la entrada, el tipo de compuesto, y el grado de mezclado) (Ref. EPA, 1992: *U.S. Environmental Protection Agency* - la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.). Las eficiencias típicas de diseño de un incinerador recuperativo varían dentro de un rango de 98 a 99.9999% y por encima, dependiendo de los requisitos del sistema y las características de la corriente contaminada (Ref. EPA, 1992; EPA, 1996a). Las condiciones típicas de diseño necesarias para satisfacer un control de ³ 98% o una concentración de salida del compuesto de 20 partes por millón por volumen (ppmv) son: una temperatura de 870°C (1600°F), un tiempo de residencia de 0.75 segundo, y un mezclado adecuado. Para las corrientes de COV halogenados, una temperatura de combustión de 1100°C (2000°F), un tiempo de residencia de 1.0 segundo, y el uso de un depurador de gases ácidos en el ductos de salida es recomendado (Ref. EPA, 1992).

Para las corrientes de purga con concentraciones de COV por debajo de aproximadamente 2000 ppmv, se reducen las velocidades de reacción, se disminuye la eficiencia máxima de destrucción de COV, y una concentración en el tubo ductos de salida del incinerador de 20 ppmv o menor puede ser lograda (Ref. EPA, 1992).

Las emisiones controladas y/o los datos de la pruebas de eficiencia para materia particulada en incineradores por lo general no están disponibles en la literatura. Sin embargo, los factores de emisión para materia particulada en los procesos de anhídrido ftálico con incineradores están disponibles. Se encontró que las eficiencias de control de MP para estos procesos varían entre el 79 y el 96% (Ref. EPA, 1998). En el Inventario Nacional para 1990 de la EPA, se reportó que los incineradores utilizados como dispositivos de control para MP alcanzaban una eficiencia de control de 25-99% para la materia particulada de 10 micras o menos de diámetro aerodinámico (MP₁₀) en localidades de fuentes de punto (Ref. EPA, 1998). La tabla 1 presenta un análisis detallado de los rangos de eficiencia de control de MP₁₀ por industria, para los incineradores recuperativos (Ref. EPA, 1996b). La eficiencia de control de COV reportada para estos dispositivos varió dentro de un rango de 0 a 99.9%. Estos rangos de eficiencia de control son grandes porque incluyen localidades que no poseen emisiones de COV y controlan únicamente MP, tanto como las

localidades que poseen emisiones bajas de MP y se preocupan ante todo por controlar COV (Ref. EPA, 1998).

Tabla 1. Eficiencias de Destrucción de MP₁₀ de los Incineradores Recuperativos por Industria (Ref. EPA, 1996b)

Industria / Tipo de Fuentes	Eficiencia de Control de MP ₁₀ (%)
Productos de Petróleo y Carbón procesos de techado de asfalto (soplado, saturación de fieltro); calcinación de minerales; procesos de refinamiento de petróleo (soplado de asfalto, descomposición térmica catalítica, calcinación de coque, convertidor de sedimento fangoso); manufactura de azufre	25-99.9
Productos Químicos y Aliados manufactura de carbón negro; manufactura de carbón; desecho de residuos líquidos; procesos químicos misceláneos; manufactura de pesticidas; manufactura de anhídrido ftálico (oxidación de xileno); manufactura de plásticos/fibra orgánica sintética; incineración de residuos sólidos (industriales)	50-99.9
Industrias de Metales Primarios procesos de derivados del coque (descarga del carbón, cargamento y empuje del horno, enfriamiento); cúpula de hierro gris y otros procesos misceláneos; procesos secundarios del aluminio (quemado/secado, horno de fundición); procesos secundarios del cobre (secado de chatarra, cúpula de chatarra, y procesos misceláneos); procesos misceláneos de la fundición de acero; horno para los recubrimientos de superficies	70-99.9
Equipo Electrónico y Otros Eléctricos procesos misceláneos de la manufactura química; horno para cocimiento de equipo eléctrico; tanque de techo fijo; procesos misceláneos de la producción de minerales; enrollado/estirado secundario de aluminio por extrusión; incineración de residuos sólidos (industrial)	70-99.9
Servicios Eléctricos, de Gas, y Sanitarios motores de combustión interna, incineración de residuos sólidos (industrial, comercial/institucional)	90-98
Alimentos y Productos Afines procesamiento de carbón, misceláneos; procesamiento de maíz, misceláneos; procesamiento de fugitivo, misceláneos; procesamiento de soya, misceláneos	70-98
Seguridad Nacional y Asuntos Internacionales incineración de residuos sólidos (comercial/institucional y municipal)	70

Tipo de Fuente Aplicable: Punto

Aplicaciones Industriales Típicas:

Los incineradores recuperativos pueden ser utilizados para reducir las emisiones provenientes de casi todas las fuentes de COV, incluyendo las respiraderos de reactores, respiraderos de destilación, operaciones con solventes, y operaciones realizadas en hornos y secadoras. Pueden manejar fluctuaciones menores del flujo; sin embargo, las fluctuaciones excesivas requieren el uso de una antorcha (Ref. EPA, 1992). Su consumo de combustible es alto, así que las unidades recuperativas son las mejor indicadas para las aplicaciones en procesos más pequeños con cargas de COV de moderadas a altas.

Los incineradores son utilizados para controlar los COV provenientes de una amplia variedad de procesos industriales incluyendo, pero no limitándose, a los siguientes (Ref. EPA, 1992):

1. Almacenamiento y carga/descarga de productos de petróleo y otros líquidos orgánicos volátiles;
2. Limpieza de recipientes (tanques de ferrocarril, carros tanques y barcas);
3. Válvulas de purga de proceso en la Industria Manufacturera de Químicos Orgánicos Sintéticos (IMQOS);
4. Manufactura de pinturas;
5. Productos de caucho y manufactura de polímeros;
6. Manufactura de madera multilaminar;
7. Operaciones de recubrimiento de superficies:
Aparatos eléctricos, alambre magnético, automóviles, latas, carretes de metal, papel, película y lámina, cintas y etiquetas sensitivas a presión, cinta magnética, recubrimiento e imprimido de telas, muebles de metal, muebles de madera, paneles de hoja de madera, aeronáutica, productos de metal misceláneos;
9. Recubrimientos flexibles de vinilo y uretano;
10. Industria de artes gráficas;
11. Localidades para el Tratamiento; y
12. Almacenamiento y Desecho de residuos tóxicos (LTAD).

Características de la Corriente de Emisión:

- a. **Flujo de Aire:** Las velocidades típicas del flujo de aire para los incineradores recuperativos son de 0.24-24 metros cúbicos estándar por segundo (m^3/s) (500 a 50,000 *Standard Cubic Feet per Minute (scfm* - pies cúbicos estándar por minuto)) (Ref. EPA, 1996a).
- b. **Temperatura:** La mayoría de los incineradores operan a temperaturas más altas que la temperatura de ignición, la cual es una temperatura mínima. La destrucción térmica de la mayoría de los compuestos orgánicos ocurre entre 590°C y 650°C (1100°F y 1200°F). La mayoría de los incineradores de desechos son operados de 980°C a 1200°C (1800°F - 2200°F) para asegurar la destrucción casi completa de los compuestos orgánicos en el desecho (Ref. AWMA, 1992: *Air & Waste Management Association*, la Asociación para el Manejo de Aire y Residuos de EE. UU.).
- c. **Carga de Contaminantes:** Los incineradores recuperativos pueden ser utilizados a través de un rango bastante amplio de concentraciones de vapor orgánico. Por consideraciones de seguridad, la concentración de orgánicos en el gas de desecho debe ser sustancialmente menor del límite inflamable inferior (Límite Explosivo Inferior, o LEI) del compuesto específico que está siendo controlado. Como regla, un factor de seguridad de cuatro (esto es, el 25% del LEI) es usado (Ref. EPA, 1991; AWMA, 1992). El gas de desecho puede ser diluido con aire del ambiente, si fuera necesario, para reducir la concentración. Considerando los factores económicos, los incineradores recuperativos funcionan mejor a concentraciones de entrada de alrededor de 1500 a 3000 ppmv, porque el calor de combustión de los gases de hidrocarburo es suficiente para sostener las altas temperaturas requeridas sin la adición de un combustible auxiliar costoso (Ref. EPA, 1995).
- d. **Otras Consideraciones:** Los incineradores no son generalmente recomendables para controlar gases que contengan compuestos que contienen halógenos o azufre, debido a la formación de cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno gaseoso, bióxido de azufre, y otros gases altamente corrosivos. En tales casos puede ser necesario instalar un sistema de tratamiento de gases ácidos de postoxidación, dependiendo de la concentración en la

salida. Esto probablemente haría de la incineración una opción no económica (Ref. EPA, 1996a). Los incineradores recuperativos son además por lo general poco efectivos en costo para las corrientes de vapor orgánico de baja concentración y alto flujo (Ref. EPA, 1995).

Requisitos para el Pre-tratamiento de la Corriente de Emisión:

Típicamente, no se requiere pre-tratamiento alguno, sin embargo, en algunos casos se puede utilizar un condensador para reducir el volumen total del gas a ser tratado por el incinerador más costoso.

Información de Costos:

A continuación se presentan los rangos de los costos (expresados en dólares del 2002) para incineradores recuperativos de diseño modular bajo condiciones típicas de operación, desarrollados utilizando los formatos de la EPA para la estimación de costos (Ref. EPA, 1996a) y referidos a la velocidad del flujo volumétrico de la corriente de desecho tratada. Los costos no incluyen costos para un sistema de tratamiento de gases ácidos de post-oxidación. Los costos pueden ser sustancialmente más altos que en los rangos mostrados cuando son utilizados para las corrientes de COV bajas a moderadas (menores de alrededor de 1000 a 1500 ppmv). Como regla, las unidades más pequeñas que se encuentren controlando una corriente de desecho a una concentración baja serán mucho más costosas (por unidad de velocidad de flujo volumétrico) que una unidad grande limpiando un flujo con una carga alta de contaminantes.

- a. **Costo de Capital:** \$25,000 a 212,000 por m³/s (\$15 a \$130 por *scfm*).
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$10,000 a \$53,000 por m³/s (\$5 a \$25 por *scfm*), anualmente.
- c. **Costo Anualizado:** \$17,000 a \$95,000 por m³/s (\$8 a \$45 por *scfm*), anualmente.
- d. **Efectividad de Costo:** \$105 a \$2,000 por tonelada métrica (\$95 a \$1,800 por tonelada corta), costo anualizado por tonelada por año de contaminante controlado.

Teoría de Operación:

La incineración, u oxidación termal, es el proceso de oxidar materiales combustibles elevando la temperatura del material por encima de su punto de auto-ignición en la presencia de oxígeno, y manteniéndolo a alta temperatura por un tiempo suficiente para completar su combustión a bióxido de carbono y agua. Tanto el tiempo como la temperatura, la turbulencia (para mezclado), y la disponibilidad de oxígeno afectan la velocidad y la eficiencia del proceso de combustión. Estos factores proporcionan los parámetros de diseño básico para los sistemas de oxidación de COV (Ref. ICAC, 1999: *Institute of Clean Air Companies* - el Instituto de Compañías de Aire Limpio).

El incinerador recuperativo está compuesto por la cámara de combustión, el precalentador del gas de desecho y, si fuese apropiado, un intercambiador de calor por recuperación de energía secundario.

Los dos tipos de intercambiadores de calor utilizados más comúnmente son el de "placa a placa" y el de "armazón y tubo". Los intercambiadores de placa a placa ofrecen una recuperación de energía de alta eficiencia a un costo menor que los diseños de armazón y tubo. Además, debido a su configuración modular, las unidades placa a placa pueden ser construidas para lograr una variedad de eficiencias. Sin embargo, cuando las temperaturas de los gases exceden los 540°C (1000°F), los intercambiadores de tubo generalmente tienen costos de adquisición menores que los diseños de placa a placa. Es más, los intercambiadores de armazón y tubo ofrecen una mejor confiabilidad estructural a largo plazo que las unidades de placa a placa (Ref. EPA, 1996a).

Algo de la energía añadida por el combustible auxiliar en las unidades térmicas tradicionales (pero no recuperada al precalentar la corriente de suministro) puede ser aún recuperada. Se pueden añadir intercambiadores de calor adicionales para proveer calor para el proceso en la forma de vapor a baja presión o agua caliente para aplicaciones en el sitio. La necesidad de este nivel más alto de recuperación de energía dependerá de la localidad específica (Ref. EPA, 1996a).

El corazón del incinerador termal es una flama estabilizada por una tobera mantenida por una combinación de combustible auxiliar, compuestos gaseosos de desecho, y aire suplemental añadido cuando sea necesario. Mientras pasa a través de la flama, el gas de desecho es calentado desde su temperatura precalentada de entrada hasta su temperatura de ignición. La temperatura de ignición varía para diferentes compuestos y por lo general se determina empíricamente. Es la temperatura a la cual la velocidad de reacción de la combustión excede la velocidad de las pérdidas de calor, elevando de esta manera la temperatura de los gases a algún valor mayor. Por tanto, cualquier mezcla orgánica/aire se encenderá si su temperatura es elevada a un nivel suficientemente alto (Ref. EPA, 1996a).

El nivel requerido de control de los COV del gas de desecho que debe ser alcanzado dentro del tiempo que este pasa en la cámara de combustión termal dicta la temperatura del reactor. Entre más corta sea el tiempo de residencia, más alta deberá ser la temperatura del reactor. El tiempo de residencia nominal del gas de desecho reaccionando en la cámara de combustión se define como el volumen de la cámara de combustión dividido por la velocidad del flujo volumétrico del gas. La mayoría de las unidades térmicas están diseñadas para proporcionar no más que un segundo de tiempo de residencia al gas de desecho con temperaturas típicas de 650 a 1100°C (1200 a 2000°F). Una vez que la unidad es diseñada y construida, el tiempo de residencia no se cambia fácilmente, de manera que la temperatura de reacción requerida se vuelve una función de la especie gaseosa en particular y del nivel de control deseado (Ref. EPA, 1996a).

Los estudios basados en datos reales de pruebas de campo, demuestran que los incineradores comerciales deben ser operados generalmente a 870°C (1600°F) con un tiempo de residencia nominal de 0.75 segundo para asegurar el 98% de la destrucción de los orgánicos no halogenados (Ref. EPA, 1992).

Ventajas:

Los incineradores son uno de los métodos más positivos y comprobados para destruir COV, con eficiencias hasta el 99.9999% posibles. Los incineradores recuperativos son por lo general más económicos que los incineradores termales sencillos porque recuperan alrededor del 70% del calor de desecho proveniente de los gases de escape. Este calor puede ser utilizado para precalentar el aire entrante, y seguido, suficiente calor de desecho estará disponible para el calentamiento del proceso, o para generar vapor o agua caliente.

Desventajas:

Aún con la recuperación de energía calorífica de desecho, los costos de operación de un incinerador son relativamente altos debido al costo del combustible suplemental.

Los incineradores termales, incluyendo los tipos recuperativos, no están bien indicados para corrientes con flujo altamente variable debido al tiempo reducido de residencia y al mezclado deficiente durante condiciones de flujo incrementado los cuales disminuyen lo completo de la combustión. Esto causa que la temperatura de la cámara de combustión descienda, y de este modo disminuya la eficiencia de destrucción (Ref. EPA, 1991).

Otras Consideraciones:

Las eficiencias de recuperación térmica están limitadas típicamente del 40 al 70% para evitar la auto-ignición en el paquete de intercambio de calor, el cual dañaría el paquete.

Referencias:

AWMA, 1992. *Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual*. Van Nostrand Reinhold, New York.

EPA, 1991. U.S. EPA, Office of Research and Development, "Control Technologies for Hazardous Air Pollutants," EPA/625/6-91/014, Washington, D.C., June.

EPA, 1992. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Control Techniques for Volatile Organic Emissions from Stationary Sources," EPA-453/R-92-018, Research Triangle Park, NC., December.

EPA, 1995. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Survey of Control Technologies for Low Concentration Organic Vapor Gas Streams," EPA-456/R-95-003, Research Triangle Park, NC., May.

EPA, 1996a. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. February.

EPA, 1996b. U.S. EPA, "1990 National Inventory," Research Triangle Park, NC, January.

EPA, 1998. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.

ICAC, 1999. Institute of Clean Air Companies internet web page www.icac.com, Control Technology Information - Thermal Oxidation, page accessed March 1999.